

# ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ МОНОКАРБИДА ВОЛЬФРАМА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

*Терентьев Д. С., Лаптев И. С., Петрина Д. А.*

*Руководитель – проф., к.т.н. Буров В. Г.*

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск

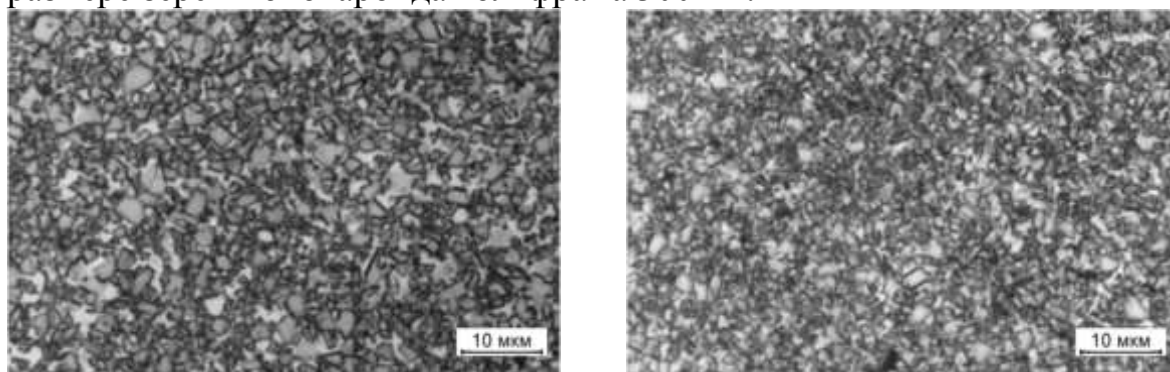
Terentiev240485@mail.ru

В качестве одного из перспективных направлений повышения эксплуатационных характеристик вольфрамкобальтовых твердых сплавов рассматривается добавление в состав твердосплавных порошковых смесей наноразмерных частиц  $WC$ . Использование наноразмерных частиц  $WC$  в исходных порошковых смесях не является гарантией создания твердых сплавов со сверхмелким зерном упрочняющей фазы, но в значительной степени изменяет характер процессов, протекающих на всех стадиях формирования вольфрамкобальтовых твердых сплавов. Выяснение особенностей взаимодействия наноразмерных частиц  $WC$  между собой и с кобальтом в процессе формирования твердых сплавов (приготовления порошковых смесей, компактирования и жидкофазного спекания) является актуальным, как с позиции получения новых знаний, так и с позиции их практического применения при производстве твердосплавных изделий.

Наноразмерные частицы монокарбида вольфрама, полученные газовой карбидизацией, вводили в твердосплавную порошковую смесь ВК15 производства ОАО Кировоградский завод твердых сплавов. Порошки перемешивали на планетарной мельнице *Fritsch pulverisette 6* в среде этилового спирта. Наилучшая однородность смесей была достигнута после 6 часов перемешивания с частотой вращения опорного диска мельницы 300 об/мин. Формирование порошковых компактов осуществляли одноосным прессованием в твердосплавной пресс-форме при давлении 500 МПа и скорости прессования 10 мм/мин. Жидкофазное спекание компактов проводили при температуре 1370 °С и изотермической выдержке 30 минут.

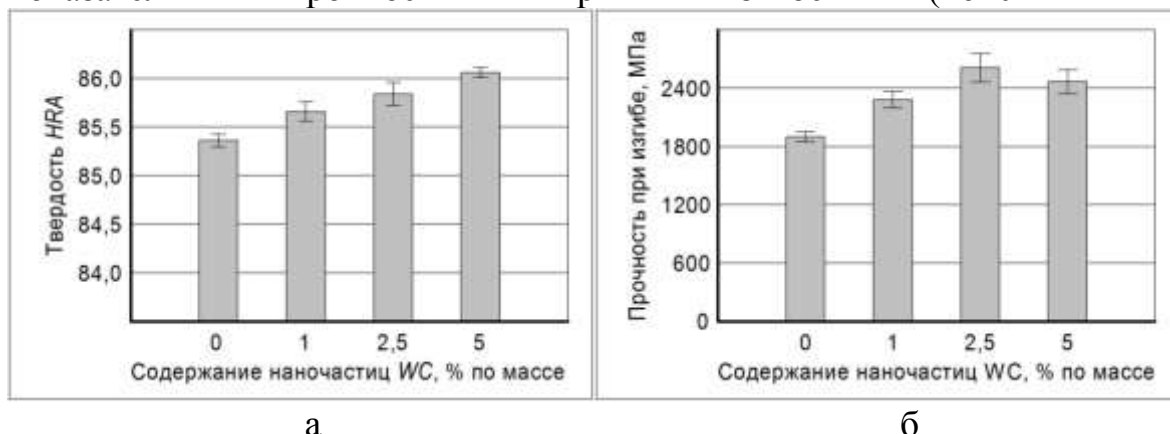
Микрофотографии образцов твердых сплавов, спеченных из промышленных твердосплавных смесей, представлены на рисунок 1 (а, б). Микроструктура эталонных образцов, содержащих 85 %  $WC$  + 15 %  $Co$  (рисунок 1 а), состояла из зерен карбида вольфрама размером 2...4 мкм и размером 0,5...1 мкм в количестве не более 30 %. Введение наноразмерных частиц  $WC$  в твердосплавные смеси в количестве от 1 % до 5 % от массы сплава и уменьшение температуры спекания (температуры появления жидкой фазы), приводит к значительному измельчению структуры сплава (рисунок 1 б). Средний размер зерна  $WC$  в

модифицированном твердом сплаве составил 2 мкм, при минимальном размере зерен монокарбида вольфрама 300 нм.



а б  
Рисунок 1. Микроструктура твердых сплавов: а – BK15, б – BK15 + 1 % *n*-WC (масс., %)

Диаграммы твердости и прочности при изгибе твердых сплавов, спеченных с добавлением различного количества наноразмерных частиц WC, представлены на рисунок 2 (а, б). Наилучшие показатели твердости HRA (86,06) достигаются при введении 5 % наноразмерных частиц WC. Введение 2,5 % наноразмерных частиц WC позволяет получить наилучшие показатели прочности при изгибе (2610 МПа).



а б  
Рисунок 2. Диаграммы физико-механических свойств твердых сплавов BK15, модифицированных различным количеством наночастиц WC

Триботехнические испытания вольфрамокобальтовых твердых сплавов в условиях трения о закрепленные частицы абразива, свидетельствуют о положительном влиянии наноразмерных частиц монокарбида вольфрама. Рассчитанное значение относительной износостойкости эталонного образца было принято равным единице. Наибольшей относительной стойкостью к износу  $\varepsilon = 1,3$  обладал твердый сплав, спеченный с добавлением 5 % наночастиц WC. Повышение показателей износостойкости твердых сплавов можно объяснить высокими значениями твердости и более мелкозернистой структурой.

По результатам исследования жаростойкости вольфрамокобальтовых твердых сплавов, установлено, что в температурном диапазоне 60...1100

°C процесс окисления протекает в три этапа. Наиболее активно процесс окисления для сплавов, спеченных с добавками различного количества наноразмерных частиц  $WC$ , проходит в температурном интервале 680...1060 °C. Наилучшей жаростойкостью характеризуется твердый сплав, спеченный с добавлением 5 % наноразмерных частиц  $WC$ , ввиду более высокой температуры начала окисления 738 °C.

Результаты электронно-микроскопических исследований и механических испытаний свидетельствуют об эффективности применения наноразмерных частиц монокарбида вольфрама при производстве вольфрамокобальтовых твердых сплавов. На основании экспериментальных данных, полученных в работе, для получения максимального эффекта от модифицирования следует ограничивать добавки наноразмерных частиц  $WC$  в количестве 5 % (мас.). С позиции получения высоких показателей физико-механических и эксплуатационных свойств наибольшее значение при производстве модифицированных твердых сплавов имеют баланс общего и свободного углерода, свойства наноразмерных частиц  $WC$ , условия приготовления твердосплавных смесей, компактирования и жидкофазного спекания.

### Выводы

1. Введение наноразмерных частиц  $WC$  в твердосплавные порошковые смеси позволяет повысить физико-механические и эксплуатационные свойства вольфрамокобальтовых твердых сплавов за счет изменения условий спекания и формирования более мелкозернистой структуры.

2. Добавление в твердосплавную порошковую смесь BK15 наноразмерных частиц карбида вольфрама в количестве 2,5 % от массы сплава позволяет повысить микротвердость  $HV$  на 18 %, предел прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$  – на 18 %, предел прочности на изгиб  $\sigma_{изг}$  – на 37 %. Возрастание прочностных характеристик позволяет повысить износостойкость – на 30 %, и жаростойкость – на 60 °C в зависимости от количества вводимых наночастиц  $WC$  и марки твердосплавной смеси.

Используемые литературные источники:

1. Панов, В. С. Нанотехнологии в производстве твердых сплавов: (Обзор) / В. С. Панов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2007. – № 2. – С. 63–68.

2. Твердые сплавы  $WC$  – 6 мас. %  $Co$  и  $WC$  – 10 мас. %  $Co$  на основе нанокристаллических порошков / А. С. Курлов, А. А. Ремпель, Ю. В. Благовещенский, А. В. Самохин, Ю. В. Цветков // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 439, № 2. – С. 215–220.